

# 降雨入渗条件下浅层边坡及框架锚杆支护边坡稳定性分析

## Stability Analysis of Shallow Slope and Frame Anchor Rod Support Slope under Rainfall Infiltration Conditions

杨锋 唐潇

Feng Yang Xiao Tang

重庆北方地质工程勘察有限公司 中国·重庆 401520

Chongqing North Geological Engineering Survey Co., Ltd., Chongqing, 401520, China

**摘要:** 论文针对降雨入渗条件下浅层边坡及框架锚杆支护边坡的稳定性进行了深入研究。首先,通过对重庆地区浅层边坡工程的概况分析,明确了研究的背景和目标。然后,探讨了降雨入渗对边坡稳定性的影响机理,并建立了边坡稳定性分析模型。最后,通过对重庆地区的实际案例进行分析,验证了理论研究的正确性,并为实际工程提供了参考。

**Abstract:** This paper conducts in-depth research on the stability of shallow slopes and frame anchor rod supported slopes under rainfall infiltration conditions. Firstly, by analyzing the overview of shallow slope engineering in Chongqing, the research background and objectives were clarified. Then, the mechanism of the impact of rainfall infiltration on slope stability was explored, and a slope stability analysis model was established. Finally, by analyzing practical cases in the Chongqing region, the correctness of the theoretical research was verified and reference was provided for practical engineering.

**关键词:** 浅层边坡; 框架锚杆支护; 稳定性分析

**Keywords:** shallow slope; frame anchor rod support; stability analysis

**DOI:** 10.12346/etr.v5i9.8567

## 1 引言

岩土工程是土木工程的重要组成部分,涉及许多关键的工程问题,如边坡稳定性、地基基础检测、桩基完整性检测等。其中,边坡稳定性问题是岩土工程中的一个重要问题,尤其是在降雨入渗条件下的边坡稳定性问题。论文以重庆地区为例,对浅层边坡及框架锚杆支护边坡在降雨入渗条件下的稳定性进行了详细的研究和分析<sup>[1]</sup>。

## 2 中国重庆地区浅层边坡工程概况

### 2.1 地质条件分析

重庆地区的地质条件具有其独特性。该地区的岩土组合以软硬岩互层为主要特征。在长期的风化作用和重力作用下,这些岩层容易发生差异风化,产生拉裂变形,形成危岩体。这种地质条件对浅层边坡工程的稳定性产生了重要影响。此外,重庆地区的工程地质环境条件与危岩体发育特征、

分布规律、变形破坏模式以及危岩体稳定性之间存在着重要的联系。这些因素都需要在进行浅层边坡工程的设计和施工时予以充分考虑。在实际工程中,重庆地区的浅层边坡工程常常需要面对各种挑战,如滑移式、倾倒式和坠落式等多种失稳模式。因此,对这些地质条件进行详细的分析,对于保证浅层边坡工程的稳定性至关重要<sup>[2]</sup>。

### 2.2 边坡变形破坏案例

2020年7月17日,受连续强降雨影响,重庆市云阳县云阳镇三坪村团包滑坡中前部发生强烈变形,造成一栋房屋垮塌。在重庆市某综合大楼的建设过程中,基坑边坡发生滑塌,导致道路中断水、电、气、污水管、通讯等管网中断。这个案例充分说明了在多为岩质地基的区域,深基坑的开挖可能会引发顺层基坑边坡的滑塌破坏,对坡顶的既有建、构筑物产生很大的危险。这些案例都反映了在特定的地质和气候条件下,边坡稳定性问题的复杂性和严重性。因此,对于

【作者简介】杨锋(1989-),男,中国湖北宜昌人,工程师,从事岩土工程研究。

这类问题的研究具有重要的理论和实践意义<sup>[3]</sup>。

### 2.3 框架锚杆支护应用情况

框架锚杆支护是一种在边坡、岩土深基坑等工程及隧道、采场等地下洞室施工中采用的一种加固支护方式，如图1所示。它通过将金属件、木件、聚合物件或其他材料制成的杆柱打入地表岩体或洞室周围岩体预先钻好的孔中，利用其头部、杆体的特殊构造和尾部托板（亦可不用），或依赖于黏结作用将围岩与稳定岩体结合在一起而产生悬吊效果、组合梁效果、补强效果，以达到支护的目的。在重庆地区，由于地质条件复杂，框架锚杆支护在边坡工程中得到了广泛应用。例如，在开关站边坡地质主要成分为碎石粉质粘土且地层均匀性较差、含水量高、承载力低的情况下，成孔后孔壁易掉碎屑甚至塌孔，造成锚杆无法插入孔内。为了解决这个问题，工程师们采取了一系列措施，包括成孔后尽快灌注水泥砂浆以便对锚杆孔形成护壁，并在注浆前将孔内岩屑、泥砂、水用高压空气风吹洗干净。这些措施都充分体现了框架锚杆支护在处理复杂地质条件下的优势。总的来说，框架锚杆支护是一种有效的边坡稳定性保障手段，特别是在地质条件复杂的重庆地区，其应用更显重要。然而，框架锚杆支护的设计和施工需要考虑许多因素，包括地质条件、气候条件、施工条件等，因此需要进行详细的现场调查和科学的设计<sup>[4]</sup>。

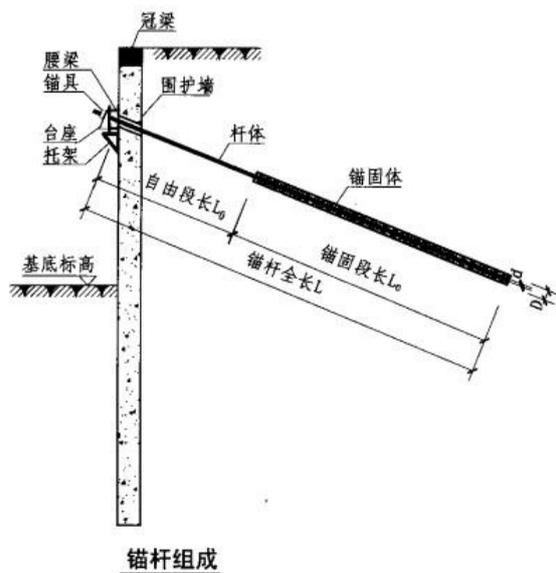


图1 框架锚杆支护

## 3 降雨入渗对边坡稳定性的影响机理

### 3.1 渗流水位上升效应

降雨入渗对边坡稳定性的影响主要体现在渗流水位上升效应上。当降雨入渗到边坡中，会使得地下水位上升，从而增加了边坡的饱和区域。这种饱和区域的增加会导致边坡的重力增大，从而增加了边坡的不稳定性。此外，地下水位的

上升还会改变土体的应力状态，使得土体的有效应力减小，从而降低了土体的抗剪强度。这种抗剪强度的降低会使得边坡更容易发生滑动，从而导致边坡失稳。因此，降雨入渗对边坡稳定性的影响主要是通过改变地下水位，从而改变了土体的物理和力学性质，导致边坡稳定性降低。这种影响在重庆地区尤为明显，因为该地区的降雨量较大，地质条件复杂。因此，在进行边坡工程设计和施工时，必须充分考虑到降雨入渗对边坡稳定性的影响。

### 3.2 边坡力学性质改变

降雨入渗会对边坡的力学性质产生重要影响。当水分入渗到土体中，会使得土体的孔隙充满水，从而导致土体的体积增大，抗剪强度降低，这都会增加边坡的不稳定性。具体来说，水分的入渗会使得土体的饱和度增大，从而使得土体的孔隙水压力增大。孔隙水压力的增大会使得土体的有效应力减小，从而降低了土体的抗剪强度。这种抗剪强度的降低会使得边坡更容易发生滑动，从而导致边坡失稳。此外，水分的入渗还会改变土体的物理性质，如密度、孔隙率等。这些物理性质的改变也会对边坡的稳定性产生影响<sup>[5]</sup>。

## 4 边坡稳定性分析模型建立

### 4.1 地下水渗流模型

边坡稳定性分析中，渗流模型是一个核心部分。首先，明确边坡的地质构造和层次结构对于正确模拟渗流至关重要。这包括对不同土层（如粘土、砂土等）的描述、各土层的厚度，以及土的物理性质（如孔隙率、颗粒大小等）的了解。接着，确定边界条件是另一个关键步骤。这涉及对上游渗流源（如降雨、地表径流）的考虑，下游渗流出口或集水井的位置，以及边坡侧边界受到的其他因素（如周围地形、建筑物等）的影响。达西定律是描述饱和土中水流的基本方程，但对于非饱和土，还需考虑如土的吸水性、蒸发等因素。在进行模型计算时，有多种方法可选，包括有限元、有限差分或者使用专业软件如 GeoStudio、PLAXIS 等进行模拟。确实地下水位也是一个关键步骤，通常需要依赖于现场观测井数据或模型预测。渗流对边坡稳定性的影响主要体现在增加的土体重量、土的抗剪强度的变化，以及可能的剪切失效。针对这些影响，可能需要采取一系列措施，如设置排水设施、改善土的物理性质或增加土的稳定性的。整个过程是一个综合性、多学科的问题，需要地质学、土木工程和水文学的知识来共同完成。边坡稳定性分析模型如图2所示。

### 4.2 边坡稳定计算模型

边坡稳定计算模型涉及对边坡地质和工程特性的详细考察，如其地质构造、土层类型及其物理和力学性质，这通常通过实地调查和室内试验来完成。接着，根据边坡的真实形态，形成其几何模型，明确边坡的高度、坡度和其他关键特征。选择适当的稳定性分析方法，如简化的方法或有限元方法，是核心的一步。这需要在边坡上确定潜在的滑动面，并

根据所选方法计算各种工况下的安全系数。必须考虑外部和内部的多种影响,从雨水渗透到地震,这些都可能影响边坡的稳定性。如果安全系数不达标,需要采取稳定性加固措施,如锚固或排水。最后,在施工和运营过程中,建立监测机制以确保边坡的稳定,并验证模型预测与实际的一致性。简而言之,边坡稳定计算模型是一个确保边坡安全的综合性、迭代的过程。

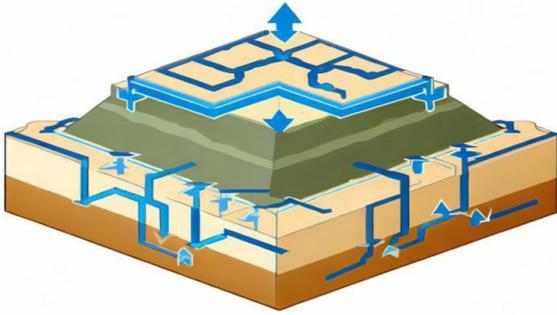


图2 边坡稳定性分析模型

#### 4.3 框架锚杆支护模型

框架锚杆支护模型是边坡或地下建筑中常用的一种稳定措施。其中,锚杆主要是由钢筋或钢绳制成的,经过预应力处理,以增加其抗拉能力。锚杆的一端深入地层中,固定在稳定的岩土体内,另一端伸出至地面或工程表层,与结构框架连接。它起到把土体或岩体“锚定”到更深、更稳定的地层,从而提供额外的稳定性。当谈及框架结构,我们通常指的是由钢筋混凝土、钢材或其他高强度材料构建的支撑结构。这些框架作为一个整体,提供对土体或岩体的支撑,有效地抵抗因重力或外部荷载导致的不稳定性,如滑坡或坍塌。其设计需要考虑土的性质、外部荷载和地下水条件。锚杆的布置和设计是一个综合性的任务,需要基于地质调查数据、地质工程特性以及预期的工程负荷。锚杆的长度、直径、预应力水平及其在框架中的分布,都需要经过精细的计算和设计。采用如有限元分析等先进技术,可以确保最优的锚杆配置,满足工程需求。框架锚杆的施工过程需要精细的操作和管理。

### 5 中国重庆案例分析

#### 5.1 工程情况简介

江山名门小区位于重庆市两江新区(江北区)重庆寸滩国际保税港区,是江北区最大的地产楼盘,总建筑面积约137万 $m^2$ ,占地面积约757333 $m^2$ 。该小区紧邻渝长高速公

路的坡地,边坡高差达17m,坡地土壤的表面与水平面形成自然倾斜角。加上地层岩性、降雨及地表水入渗等因素共同作用,危及市民交通安全和燃气安全。为了确保已建(构)筑物地基基础安全及管线、道路正常运营,工程师们将采用人工挖孔矩形抗滑桩,分级放坡,以中风化基岩为底设置挡墙基础,阻止滑坡体下移。此外,为了力争在汛期前完成工程治理,区住房城乡建委迅速组织地勘、设计和图审等单位在1个月时间完成了地质勘察、治理方案专家论证、施工图设计和审查等工作。

#### 5.2 边坡变形监测结果

在江山名门小区的边坡工程案例中,区住房城乡建委等职能部门在2021年6月开展定期安全巡查时,发现坡地出现滑动,有落石、泥土冲到渝长高速路面,严重影响市民出行安全及市政管网安全。险情发生后,区委、区政府高度重视,区住房城乡建委等职能部门及时赶赴现场,采取了滑坡体卸载约2万 $m^3$ 、增设排水渠、裸土覆盖等应急处置措施,滑坡体暂时处于稳定状态。为彻底消除安全隐患,筑牢民生安全防线,在区住房城乡建委积极协调下,建设单位实施滑坡体治理工程。同时,为了力争在汛期前完成工程治理,区住房城乡建委迅速组织地勘、设计和图审等单位在1个月时间完成了地质勘察、治理方案专家论证、施工图设计和审查等工作,安排质量安全监督人员提前介入工程技术指导,平行推进施工方案编制、施工物资准备等工作,预计在2022年7月完成滑坡体治理施工。

### 6 结语

本研究为降雨入渗条件下浅层边坡稳定性分析提供了有益的见解和方法,对工程实践具有重要意义。期待着未来更多关于边坡稳定性的研究,以不断改进我们的理论和实践,确保工程的安全性和可靠性。

#### 参考文献

- [1] 孙成鹏.降雨及地震条件下高路堑边坡开挖设计的研究[D].成都:西南交通大学,2022.
- [2] 胡展.地震一渗流耦合作用下预应力锚索边坡稳定性研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [3] 陈洁茜.多根锚杆失效对框架锚杆加固边坡稳定性影响分析[D].兰州:兰州理工大学,2022.
- [4] 马嘉程.预应力锚杆复合土钉墙支护的整体稳定性分析[D].兰州:兰州理工大学,2022.
- [5] 魏龙龙.降雨入渗条件下浅层边坡及框架锚杆支护边坡稳定性分析[D].兰州:兰州理工大学,2022.